

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БИОМЕХАНИКИ КЛЕТОК СЕРДЕЧНОЙ МЫШЦЫ

Волжанинов Д.А.^{1,2*}, Хохлова А.Д.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: VolzhaninovDenis@yandex.ru

THE DEVELOPMENT OF THE EXPERIMENTAL SET-UP TO STUDY BIOMECHANICS OF HEART MUSCLE CELLS

Volzhaninov D.A.^{1,2*}, Khokhlova A.D.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Immunology and Physiology, Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russia

The study presents the experimental set-up developed to study biomechanics of single heart muscle cells. The set-up is based on the optical control system to register cell length and force and digital micromanipulator network to apply various mechanical load to a cell. The current configuration of the set-up helps to reduce the vibration level. Software developed in LabVIEW allows one to control simultaneously four micromanipulators and apply a wide range of stretch to a cell.

Исследования биомеханических характеристик одиночных клеток сердечной мышцы (кардиомиоцитов – КМ) необходимы для понимания клеточных и субклеточных механизмов регуляции сердечной деятельности. Регистрация длины и силы КМ требует специальных методов, одним из которых является метод карбоновых волокон (КВ) [1]. В ранее разработанных экспериментальных установках для управления КВ используется физическое соединение трех устройств: трёхосевые гидравлические манипуляторы с миллиметровым диапазоном позиционирования для управления положением КВ, одноосные аналоговые пьезомоторы с нанометровым диапазоном позиционирования для прецизионного перемещения КВ и подвижные держатели двух соединенных устройств. Точки крепления механизмов могут быть уязвимы к изменениям условий окружающей среды, вибрации и т. д.

Целью данного исследования является разработка экспериментальной установки на основе системы оптического контроля IonOptix и сети цифровых микроманипуляторов (uMr) для использования метода КВ. В данном исследовании использовалась методика четырех КВ для фиксации концов клетки с целью приложения к ней механической нагрузки (растяжение или укорочение клетки).

Система оптического контроля IonOptix позволяет в реальном времени измерять положение и изгиб КВ на КМ, что необходимо для расчёта длины и силы КМ.

Для задания механической нагрузки на клетку используется цифровая система «Sensapex». Данная система, использующая сетевой протокол Ethernet UDP, имеет большой ход движения uMr (20 мм), охватывающий экспериментальную ванночку, и нанометровое разрешение (5 нм), что увеличивает её надежность по сравнению с описанными выше установками. uMr монтируются на антивибрационном столе, на специально разработанных подставках, для минимизации влияния вибраций на сокращения КМ.

Разработанное программное обеспечение в среде разработки LabVIEW позволяет прикладывать широкий диапазон растяжения и укорочения к клетке. LabVIEW позволяет работать с потоками данных, что облегчает параллельное управление несколькими микроманипуляторами одновременно.

Тестирование последовательных шагов uMr показало, что движение uMr является синхронным, а погрешность незначительна. Исследование сети с помощью программы-анализатора трафика Wireshark показало малые времена задержки. Поэтому мы считаем, что разработанная экспериментальная установка может быть использована для анализа длины и силы КМ при различных механических нагрузках.

В дальнейшем планируется обеспечить взаимодействие оптической системы IonOptix и сети uMr для реализации обратной связи, позволяющей приложить к клетке более сложные виды механической нагрузки.

Работа поддержана Постановлением Правительства РФ № 211 от 16.03.2013, программой ФНИ государственных академий наук (АААА-А18-118020590031-8) и РНФ № 18-74-10059 (разработка программного обеспечения).

1. Iribe G., Kaneko T., Yamaguchi Y., Naruse K., Progress in Biophysics and Molecular Biology, 115, 103 (2014).